

# PRÁCTICA 1.EVALUACIÓN DE SISTEMAS TRIBOLÓGICOS

**ASIGNATURA:** INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

**FECHA DE ENTREGA:**

**CURSO:** 3 MECÁNICA

**ALUMNO:** DAVID GADEA GARCÍA



# **ÍNDICE**

## **1. INTRODUCCIÓN**

## **2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

### **2.1 ANÁLISIS DE RUGOSIDAD**

### **2.2 ANÁLISIS DE DUREZA**

## **3. RESULTADOS OBTENIDOS**

### **3.1 RUGOSIDAD**

### **3.2 MICRODUREZA VICKERS**

### **3.3 ENSAYO DE FRICCIÓN**

#### **3.3.1 RESULTADOS DIRECTOS DE FUERZA DE ESTIRADO**

#### **3.3.2 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS**

##### **3.3.2.1 ACERO GALVANIZADO**

##### **3.3.2.2 ACERO INOXIDABLE**

#### **3.3.3 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO – PRESIÓN APARENTE**

#### **3.3.4 CORRELACION COEFICIENTE DE ROZAMIENTO VARIABLE DE HERSEY**

**4. JUSTIFICA LAS DIFERENCIAS OBSERVADAS  
ENTRE LOS DISTINTOS MATERIALES,  
BASÁNDOSE EN LAS DIFERENTES TEORÍAS  
ESTUDIADAS Y SUS VALORES DE RUGOSIDAD Y  
DUREZA**

**5. BIBLIOGRAFÍA**

# 1. INTRODUCCIÓN

Procedemos a realizar el estudio de los sistemas tribológicos durante esta práctica, entendiendo por **tribología** “la ciencia y tecnología que analiza la interacción entre superficies en movimiento relativo y la cuál involucra la fricción, el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto entre estas superficies sólidas”.

Es importante hacer alusión a que para un correcto análisis tribológico de una pieza es necesario tener en cuenta todas las variables que involucran su adecuado estudio, tanto extrínseco como intrínseco:

- Variables internas o intrínsecas: Naturaleza del material: composición y dureza y por otro lado el acabado superficial o topografía.
- Variables externas o extrínsecas: Cabe mencionar la velocidad de deslizamiento que va a ser constante para nuestra práctica, presión aparente y lubricante.

Para proceder al análisis tribológico de las chapas y pletinas que vamos a analizar antes debemos definir una serie de conceptos que intervienen en el procedimiento experimental y por tanto debemos conocer de ante mano;

- **Rugosidad**: conjunto de imperfecciones, irregularidades o surcos que posee una superficie o cualquier contorno de una muestra. La rugosidad se mide en micras ( $\mu\text{m}$ )
- **Rugosímetro**: Aparato de medida que sirve para determinar con rapidez la rugosidad en superficies o perforaciones, mostrando la profundidad de la rugosidad máxima,  $R_z$  y el valor de rugosidad media  $R_a$  en  $\mu\text{m}$ .

Respecto al parámetro intrínseco de topografía superficial o textura debemos concebir un perfil de notable importancia durante el desarrollo del procedimiento de obtención de la rugosidad:

- **Perfil primario o profile:** Es el perfil real de la pieza o chapa (en nuestro caso), al realizarse la medición mediante un instrumento palpador, debido a las limitaciones geométricas del palpador y de la sensibilidad del propio instrumento. Este perfil primario P, puede descomponerse en dos curvas, según la escala:
  - **Perfil de ondulación o Waviness.** En forma de onda, debido a desajustes y vibraciones de las máquinas
  - **Perfil de rugosidad o Roughness.** De forma sinuosa y ondulada, debido básicamente a las herramientas de corte.

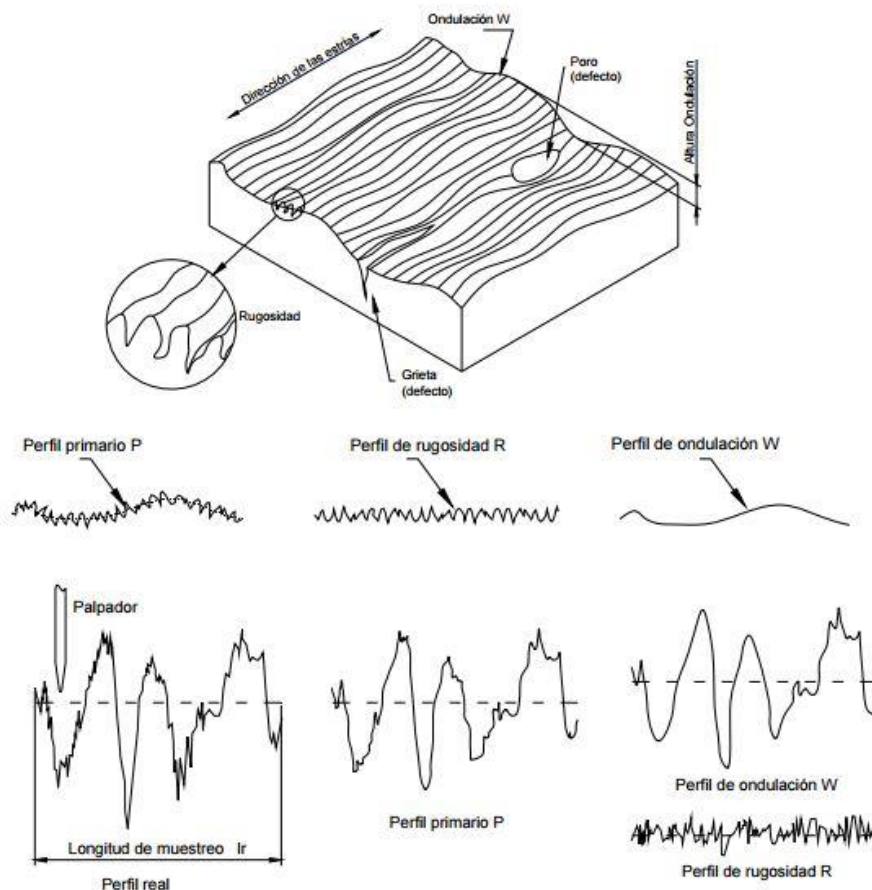


IMAGEN 1. CARACTERIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA SUPERFICIAL. UNE EN ISO 4287

- **Dureza:** Grado de resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro cuyo parámetro se mide a partir de la escala de Mohs del 1 al 10.
- **Ensayo vickers:** Prueba de dureza por penetración en el cuál se usa una máquina calibrada para aplicar una carga por medio de un penetrador piramidal de base cuadrada de diamante sobre la superficie del material bajo prueba cuya principal característica a parte del empleo de un indentador de geometría piramidal es la nula importancia de carga aplicada con la que hagamos el ensayo ya que si la hacemos adecuadamente debe darnos medidas idénticas debido a que el error entre diagonales de la pirámide es menor al 1%.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Vamos a medir 2 chapas y 3 pletinas (para el caso de rugosidad) y dos chapas para el caso del ensayo de fricción y microdureza vickers, las cuales estarán constituidas de los siguientes materiales;

- Acero al carbono con recubrimiento de zinc (galvanizado)



- Acero AISI-304. Acero inoxidable austenítico (18% de cromo y 8% de níquel)



Mientras que respecto al lubricante empleamos un aceite de baja viscosidad;



Se procede al análisis experimental de la práctica donde en mi grupo comenzamos con el análisis de la rugosidad;

## 2.1 ANÁLISIS DE RUGOSIDAD

Vamos a emplear para ello un rugosímetro surtronic 25. Constituido por dos componentes principalmente:



- **Palpador:** aguja que se encuentra en la punta del rugosímetro de tipo inductivo cuyo principio de funcionamiento se basa en el desplazamiento de esta que al describir las irregularidades del perfil modifica la longitud del entrehierro del circuito magnético, que lo atraviesa, generando una señal eléctrica de modo que el flujo de campo magnético que lo atraviesa, genera una señal eléctrica, que se traduce en la medida de una serie de parámetro de rugosidad en la pantalla LCD.

- **Patín:** Anillo rojo que toma la referencia de lo que mide.

Puesto que el recubrimiento de Zinc se realiza por inmersión procedemos a medir en la dirección longitudinal a la chapa y en la dirección transversal a la misma, también lo haremos con el acero inoxidable.

El procedimiento experimental que vamos a seguir es el siguiente;

1. Tras situar el palpador longitudinalmente o transversalmente a la chapa iniciamos la medida de rugosidad. Para ello seguimos el siguiente procedimiento. Lista → Iniciar una medición → Medida de un perfil → Validar y cerrar.
2. Puesto que debemos quitar el perfil de ondulación con el fin de no tomar medidas erróneas procedemos a ello, sabiendo que para el galvanizado no será necesario puesto que si lo hacemos quitaríamos el grano. Operador → Filtrar ondulaciones → Cut-off (0.8mm).
3. También es necesario eliminar los errores inherentes debidos a la deflexión de la pieza, sobre todo para piezas inclinadas. Operadores → Rectificación.
4. Procedemos finalmente a la obtención de los parámetros que nos interesan Rz y Ra. Estudio → Tabla de parámetros. Obteniendo los siguientes valores

## 2.2 ANÁLISIS DE DUREZA

Procedemos a medir la micro dureza vickers de las dos placas de estudio, es decir, la de acero inoxidable y la de hacer galvanizado.

Empleamos como penetrador una pirámide de base cuadrada, donde mediremos sus diagonales. Da igual con que carga hagamos el ensayo para este tipo de análisis, ya que si se realiza correctamente obtendremos medidas idénticas.

Empleamos una carga aplicada  $H_{VI\ C\ KERS}$  de 0.5kg y un tiempo de aplicación de la carga de 15s.



En primer lugar se calibra al 0 debido a la falta de batería de nuestro durómetro.

Tras ello procedemos a enfocar la muestra correctamente entre las dos líneas de medida de enfoque.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

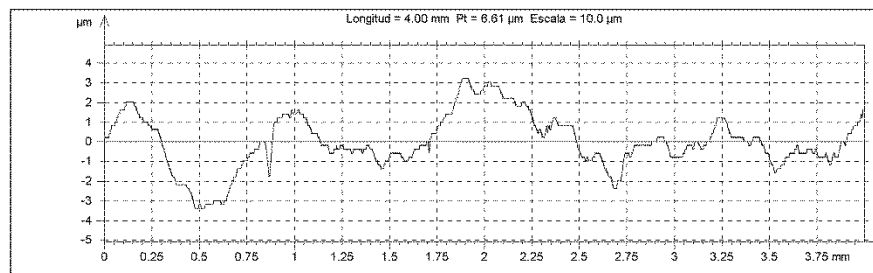
Como he comentado mi grupo comenzó por la rugosidad siguiendo el orden de microdureza vickers y ensayo de fricción;

#### 3.1 RUGOSIDAD

De todos los parámetros que me ofrece el rugosímetro aíslo los que me interesan eliminando en la medida de lo posible los que no sean necesarios de objeto de estudio. Mientras que para el acero galvanizado no es necesario quitarle el perfil de ondulación pues de esta manera le quitaríamos el grano, sí que se hace necesario quitar dicho perfil en el acero inoxidable

- **ACERO GALVANIZADO DIRECCIÓN LONGITUDINAL**

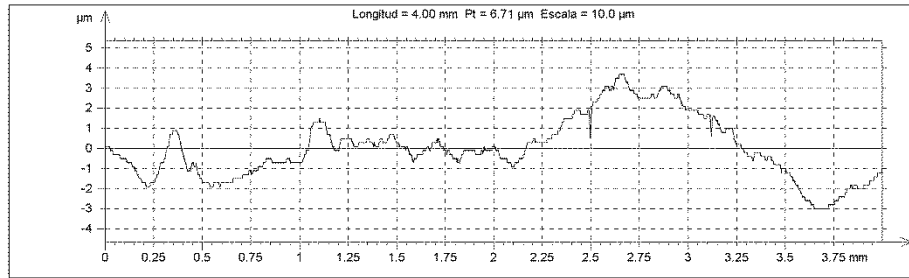
- $R_a = 0.505 \mu m$
- $R_z = 2.59 \mu m$



| ISO 4287                    |       |    |
|-----------------------------|-------|----|
| Parámetros de amplitud - Pt |       |    |
| Rp                          | 1.17  | μm |
| Rv                          | 1.42  | μm |
| Rz                          | 2.59  | μm |
| Rc                          | 1.42  | μm |
| Rt                          | 3.04  | μm |
| Ra                          | 0.505 | μm |

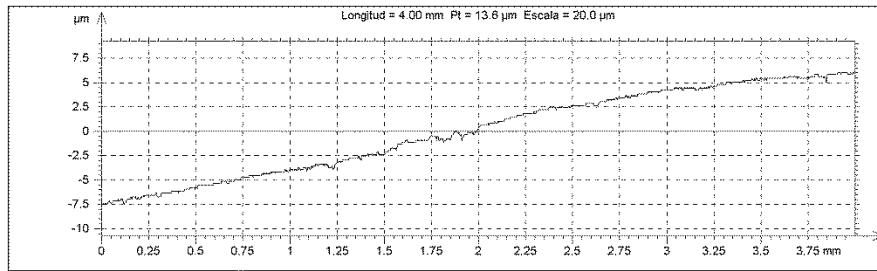
- **ACERO GALVANIZADO DIRECCIÓN TRANSVERSAL**

- $R_a = 0.289 \mu m$
- $R_z = 1.98 \mu m$

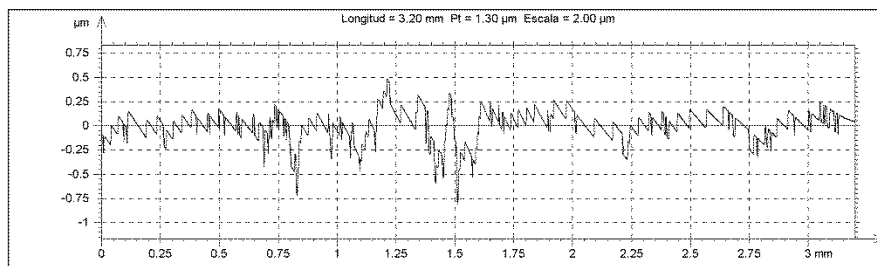
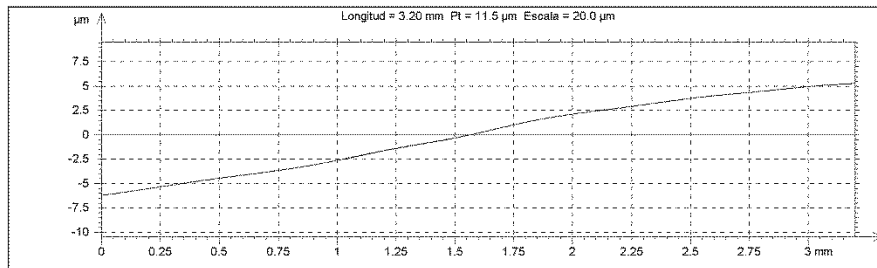


| ISO 4287                   |       |    |
|----------------------------|-------|----|
| Parámetros de amplitud – P |       |    |
| Rp                         | 0.967 | μm |
| Rv                         | 1.02  | μm |
| Rz                         | 1.98  | μm |
| Rc                         | 0.925 | μm |
| Rt                         | 2.85  | μm |
| Ra                         | 0.298 | μm |

- **ACERO INOXIDABLE DIRECCIÓN LONGITUDINAL**
  - **SIN QUITAR PERFIL DE ONDULACIÓN (1ª IMAGEN)**
    - Ra = 0.113 μm
    - Rz = 0.847 μm
  - **QUITANDO PERFIL DE ONDULACIÓN (3ª IMAGEN)**
    - Ra = 0.126 μm
    - Rz = 1.10 μm

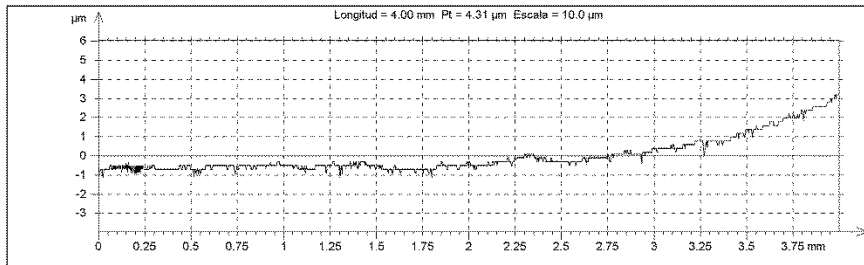


| ISO 4287                    |       |    |
|-----------------------------|-------|----|
| Parámetros de amplitud - P  |       |    |
| Rp                          | 0.320 | µm |
| Rv                          | 0.527 | µm |
| Rz                          | 0.847 | µm |
| Rc                          | 0.276 | µm |
| Rt                          | 1.29  | µm |
| Ra                          | 0.113 | µm |
| Rq                          | 0.147 | µm |
| Rsk                         | -1.55 |    |
| Rku                         | 8.19  |    |
| Parámetros de relación de r |       |    |
| Rmr                         | 99.3  | %  |
| Rdc                         | 0.190 | µm |

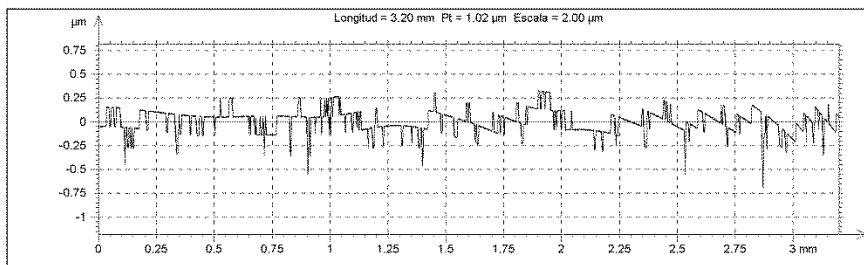
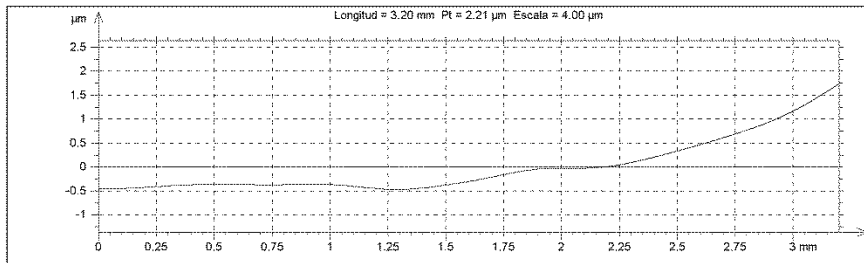


TalyProfile Gold 5.1.1.5374

- **ACERO INOXIDABLE DIRECCIÓN TRANSVERSAL**
  - **SIN QUITAR PERFIL DE ONDULACIÓN (1ª IMAGEN)**
    - $Ra = 0.727 \mu m$
    - $Rz = 0.0918 \mu m$
  - **QUITANDO PERFIL DE ONDULACIÓN (3ª IMAGEN)**
    - $Ra = 0.797 \mu m$
    - $Rz = 0.0865 \mu m$



| ISO 4287                     |        |    |
|------------------------------|--------|----|
| Parámetros de amplitud — Pe  |        |    |
| Rp                           | 0.293  | µm |
| Rv                           | 0.433  | µm |
| Rz                           | 0.727  | µm |
| Rc                           | 0.311  | µm |
| Rt                           | 1.02   | µm |
| Ra                           | 0.0918 | µm |
| Rq                           | 0.117  | µm |
| Rsk                          | -0.153 |    |
| Rku                          | 4.27   |    |
| Parámetros de relación de m. |        |    |
| Rmr                          | 99.9   | %  |
| Rdc                          | 0.160  | µm |



TalyProfile Gold 5.1.1.5374

Para el caso de las pletinas tratamos de coger la zona ensayada

- **ACERO GALVANIZADO PC = 5.27 PA**

- Ra = 0.287 µm
- Rz = 1.64 µm

- **ACERO GALVANIZADO PC = 2.42 PA**

- Ra = 0.408 µm
- Rz = 3.72 µm

- **ACERO INOXIDABLE SIN PERFIL DE ONDULACIÓN, PC = 2.8 PA**
  - Ra = 2.19  $\mu\text{m}$
  - Rz = 10.3  $\mu\text{m}$
- **ACERO GALVANIZADO PC = 2.42 PA**
  - Ra = 1.04  $\mu\text{m}$
  - Rz = 7.13  $\mu\text{m}$

## 3.2 MICRODUREZA VICKERS

- **ACERO INOXIDABLE  $\longrightarrow$  191 VICKERS**
- **ACERO GALVANIZADO  $\longrightarrow$  77.7 VICKERS**

## 3.3 ENSAYO DE FRICCIÓN

Primero mostrados los resultados obtenidos experimentalmente de la fuerza de estirado a partir de máquina de ensayo, tanto como para acero galvanizado como para acero inoxidable para mi grupo;

| <b>ACERO GALVANIZADO</b> |                |                  |
|--------------------------|----------------|------------------|
| <b>8 BARES</b>           | <b>5 BARES</b> | <b>3.5 BARES</b> |
| 153.92 N                 | 79.5 N         | 54.020 N         |

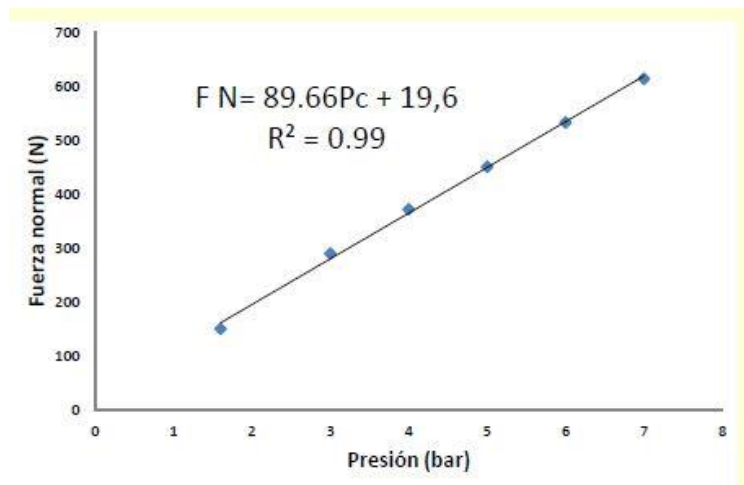
| <b>ACERO INOXIDABLE</b> |                |                  |
|-------------------------|----------------|------------------|
| <b>8 BARES</b>          | <b>5 BARES</b> | <b>3.5 BARES</b> |
| 233.691 N               | 129.72 N       | 88.143N          |

Mientras que los obtenidos por la profesora son;

### 3.3.2 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS EN CADA UNO DE LOS ENSAYO

El procedimiento que voy a seguir para conseguir relacionar el coeficiente de rozamiento frente a la presión aparente es el siguiente;

1. A partir de la recta de regresión lineal proporcionada por la profesora obtengo la Fuerza normal de acuerdo a la presión de ensayo del circuito;



2. A partir de la fuerza normal obtengo los dos parámetros que me interesan, la presión aparente y el coeficiente de rozamiento

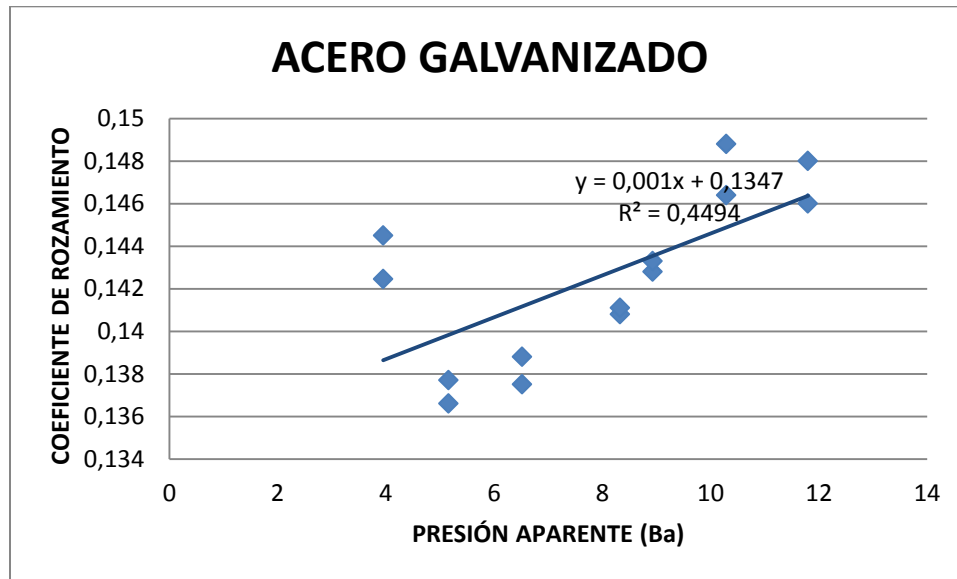
Las ecuaciones que voy a emplear son las siguientes;

$$(1) FN = 89,66 P_c + 19,6 \quad (2) Pa = \frac{FN}{S} \quad (3) \mu = \frac{Froz}{2 \cdot FN}$$

Siendo; - **FN** = Fuerza normal

- **Pc** = Presión del circuito
- **S** = Superficie de contacto de la matriz, 18 \* 3,3 mm
- **$\mu$**  = Coeficiente de rozamiento
- **Froz** = Fuerza de rozamiento

### ACERO GALVANIZADO MEDIDO POR LA PROFESORA

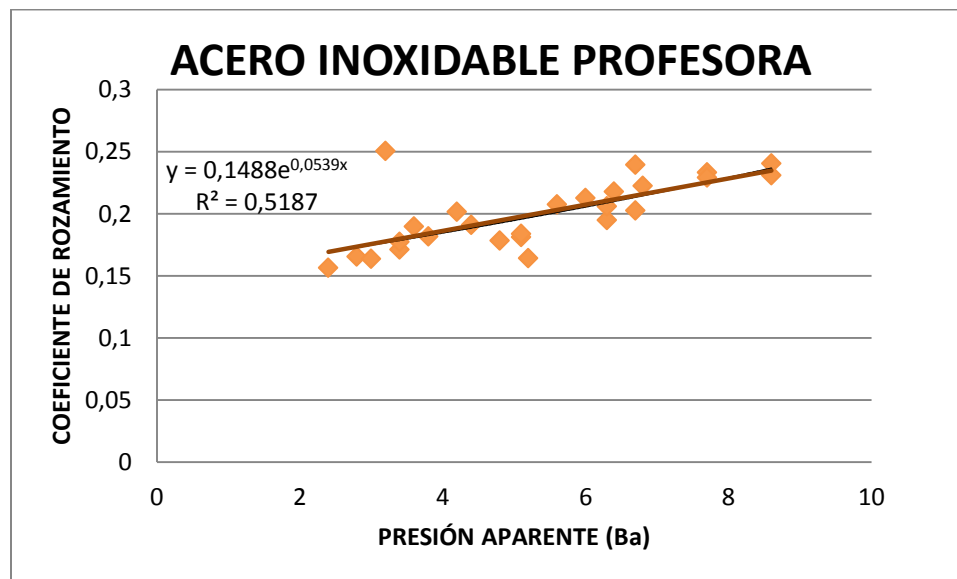


| PRESION APARENTE (Ba) | COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ( $\mu$ ) INOX. | COEFICIENTE ROZAMIENTO GALVANIZADO | FUERZA ESTIRADO |
|-----------------------|---|------------------------------------|-----------------|
| 3                     | 0,081                                     | 234,784                            | 54,02           |
| 5                     | 0,085                                     | 270,648                            | 79,5            |
| 8                     | 0,104                                     | 288,58                             | 153,92          |
|                       |   |                                    |                 |
|                       |   |                                    |                 |
| VARIABLE DE HERSEY    | COEFICIENTE DE ROZAMIENTO                 | VARIABLE DE HERSEY                 | FUERZA ESTIRADO |
| 0                     | 0,136                                     | 9,43E-10                           | 66,89           |
| 5,6                   | 0,139                                     | 8,45E-10                           | 67,85           |
| 7,87                  | 0,1501                                    | 1,49E-10                           | 107,47          |

|      |        |         |        |
|------|--------|---------|--------|
| 6,52 | 0,1375 | 387,206 | 106,47 |
| 8,33 | 0,1408 | 494,798 | 139,33 |
| 8,33 | 0,1359 | 494,798 | 134,53 |
| 8,93 | 0,1428 | 530,662 | 151,55 |
| 8,93 | 0,1369 | 530,662 | 145,36 |

Podemos observar que la gráfica da unos valores aceptables a presiones relativamente altas, sin embargo, en el campo de presiones que ronda entre 2,5 y 3,5 Ba muestra resultados anómalos pues como sabemos los ensayos debemos tomarlos a partir de unos 3 Ba para obtener datos fiables.

### ACERO INOXIDABLE MEDIDO POR LA PROFESORA

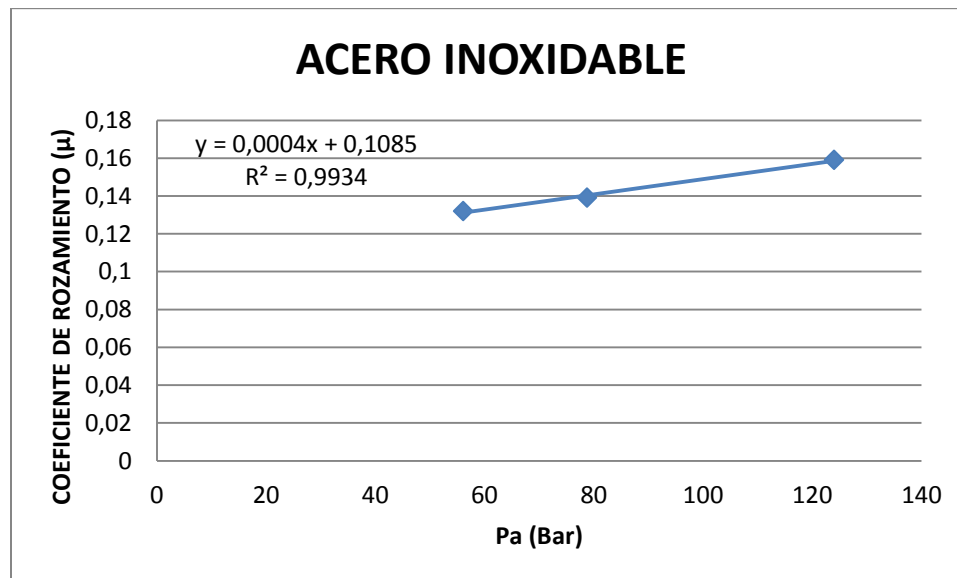
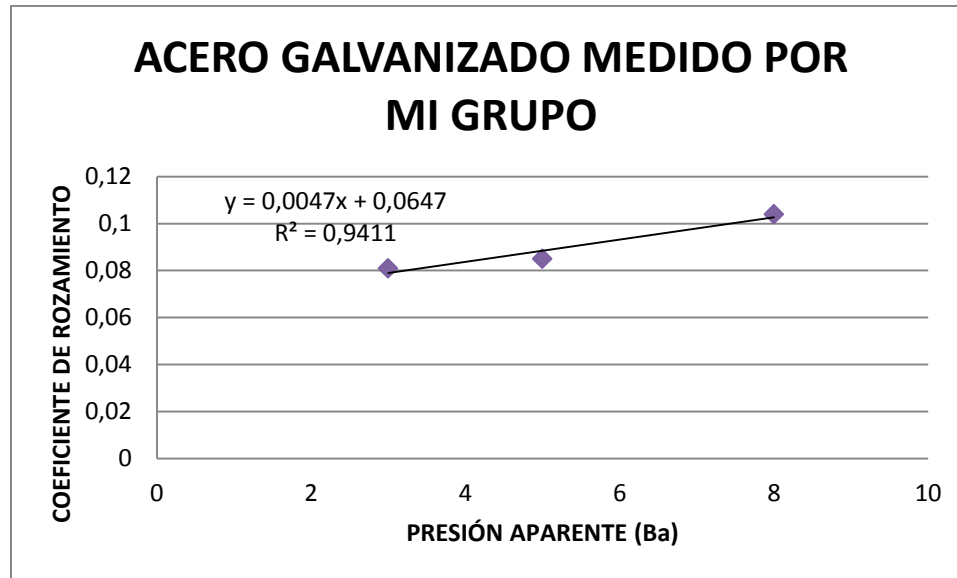


| PRESION APARENTE (Ba) | COEFICIENTE DE ROZAMIENTO (μ) INOX. | COEFICIENTE DE ROZAMIENTO GALVANIZADO | FUERZA ESTIMADA |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|



|                               |                                      |                               |                            |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| <b>3</b>                      | 0,081                                | 234,784                       | 54,0<br>2                  |
| <b>5</b>                      | 0,085                                | 270,648                       | 79,5                       |
| <b>8</b>                      | 0,104                                | 288,58                        | 153,<br>92                 |
|                               |                                      |                               |                            |
|                               |                                      |                               |                            |
| <b>VARIABLE DE<br/>HERSEY</b> | <b>COEFICIENTE DE<br/>ROZAMIENTO</b> | <b>VARIABLE DE<br/>HERSEY</b> | <b>FUERZA<br/>ESTIMADA</b> |
| <b>0</b>                      | 0,136                                | 9,43E-<br>10                  | 66,8<br>9                  |
| <b>5,6</b>                    | 0,139                                | 8,45E-<br>10                  | 67,8<br>5                  |
| <b>7,87</b>                   | 0,1501                               | 1,49E-<br>10                  | 107,<br>47                 |
| <b>6,52</b>                   | 0,1375                               | 387,206                       | 106,<br>47                 |
| <b>8,33</b>                   | 0,138                                | 494,798                       | 139,<br>33                 |
| <b>8,33</b>                   | 0,1359                               | 494,798                       | 134,<br>53                 |
| <b>8,93</b>                   | 0,1428                               | 530,662                       | 151,<br>55                 |
| <b>8,93</b>                   | 0,1369                               | 530,662                       | 145,<br>36                 |
| <b>10,29</b>                  | 0,1464                               | 611,356                       | 179                        |
| <b>10,29</b>                  | 0,1488                               | 611,356                       | 182                        |
| <b>11,8</b>                   | 0,146                                | 701,016                       | 205                        |
| <b>11,8</b>                   | 0,148                                | 701,016                       | 208,<br>21                 |
| <b>5,16</b>                   | 0,1318                               | 306,512                       | 85,6<br>6                  |
| <b>5,16</b>                   | 0,1318                               | 306,512                       | 80,8<br>5                  |
|                               |                                      |                               |                            |
|                               |                                      |                               |                            |
|                               |                                      |                               |                            |
|                               |                                      |                               |                            |
|                               |                                      |                               |                            |
|                               |                                      |                               |                            |





#### 3.3.3.2 JUSTIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO

Respecto a la justificación de estas graficas podemos mencionar lo siguiente;

- Acero inoxidable; Como podemos observar en la gráfica éste posee una correlación lineal creciente con la presión. De acuerdo con las teorías clásicas estudiadas durante el curso, podemos afirmar que este acero posee un claro comportamiento cohesivo, adhesivo o de Bowden. Esto es debido a la gran tendencia del cromo a adherirse

formando pequeñas microsoldaduras superficiales por cohesión o también denominado fricción cohesiva.

- Acero galvanizado; Como en este caso podemos observar la gráfica es lineal creciente con la presión aparente. En este caso el acero galvanizado posee la convivencia de ambos modelos, es decir, interferencial y cohesivo, sin embargo, predomina un **comportamiento interferencial** ya que en este caso no podemos hablar de la tendencia del cromo a adherirse si no de una deformación de asperezas o crestas que se produce en el zinc.

### 3.3.4 CORRELACION COEFICIENTE DE ROZAMIENTO VARIABLE DE HERSEY

De acuerdo a la ecuación de la **variable de Hersey** ;

$$H_s = \frac{v \cdot V}{P_{al}}$$

- Siendo ;
- $v$  = viscosidad dinámica del lubricante
  - $V$  = velocidad a la que se está realizando el ensayo
  - $P_{al}$  = Presión aparente

Necesitamos obtener la **viscosidad dinámica** a partir de la cinemática proporcionada por la teoría; Antes pasamos todas las variables que intervienen en nuestro análisis al S.I de unidades.

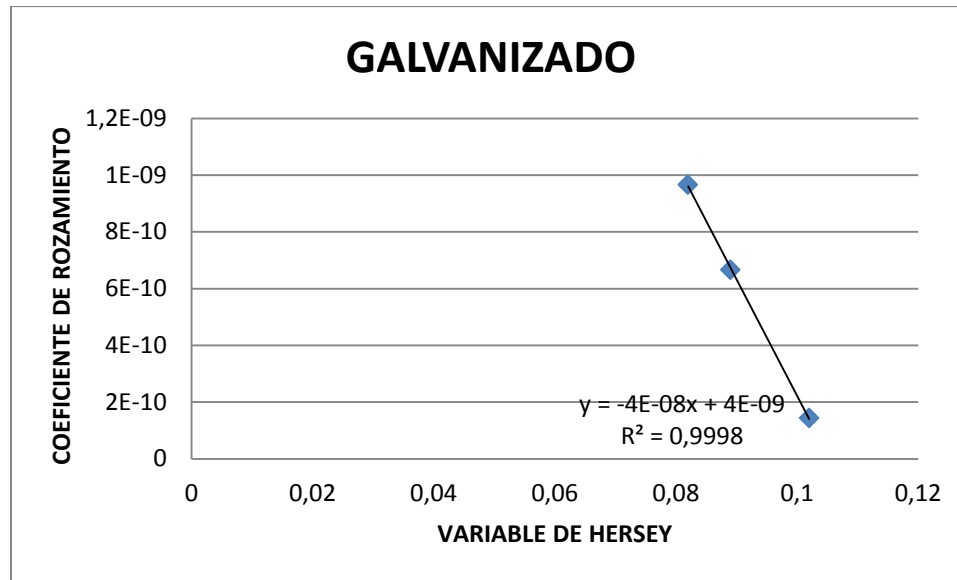
$$\rho = 900 \text{ Kg/m}^3$$

$$\eta_c = 25 \text{ mm}^2/\text{s} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$V = 100 \text{ mm/min} = 0,00167 \text{ m/s}$$

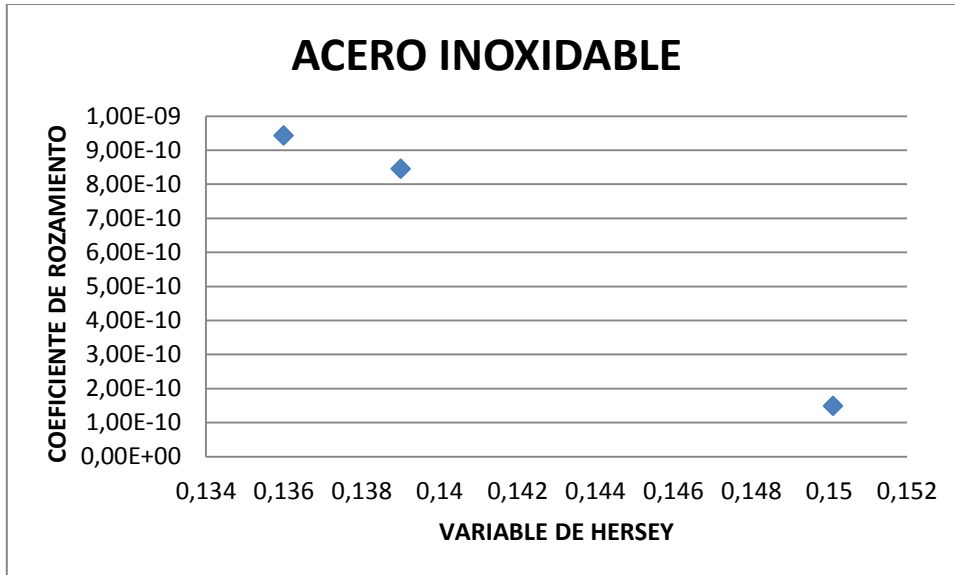
$$v = \eta_c \cdot \rho = 0,0225 \text{ kg /m} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{s/m}^{-2}$$

## ACERO GALVANIZADO



| COEFICIENTE DE ROZAMIENTO | VARIABLE DE HERSEY |
|---------------------------|--------------------|
| 0,082                     | 9,65E-10           |
| 0,089                     | 6,66E-10           |
| 0,102                     | 1,43E-10           |

## ACERO INOXIDABLE



| COEFICIENTE DE ROZAMIENTO | VARIABLE DE HERSEY |
|---------------------------|--------------------|
| 0,136                     | 9,43E-10           |
| 0,139                     | 8,45E-10           |
| 0,1501                    | 1,49E-10           |

## 4. JUSTIFICA LAS DIFERENCIAS OBSERVADAS ENTRE LOS DISTINTOS MATERIALES, BASÁNDOSE EN LAS DIFERENTES TEORÍAS ESTUDIADAS Y SUS VALORES DE RUGOSIDAD Y DUREZA

Son varias las diferencias observadas;

El acero galvanizado posee un claro comportamiento interferencial debido a la interpenetración que se produce en las ondulaciones de las superficies de contacto, es decir, a la deformación de las asperezas o crestas,

al observar la placa se puede observar el desgaste en las bandas que componen el mismo, además desde la perspectiva de la rugosidad en este material al aumentar la rugosidad aumenta el coeficiente de rozamiento, así como en cuanto al acero inoxidable sabemos que este posee un comportamiento adhesivo debido a la influencia del cromo y a su tendencia a adherirse como mencionamos en su momento, otra pista que este modelo es la rugosidad, viendo que al aumentar la rugosidad, disminuye el coeficiente de rozamiento claramente y la otra variante que nos da una idea del comportamiento del material es la dureza que como observamos por el microscopio pudimos ver que la huella que se generaba no era la típica piramidal si no una especie de círculo deformado debido a que el zinc posee una capa más blanda que el cromo deformándose plásticamente y generando este tipo de huella.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

UNE EN ISO 4287

<http://conceptodefinicion.de/dureza/>

<https://todoingenieriaindustrial.wordpress.com/metrologia-y-normalizacion/rugosidad/>

